

红外跟踪光学系统象质评定的一种方法

黄加友

(洛阳动力研究所)

摘要——本文根据产品的实际工作状态,提出以特定空间频率下的调制度作为系统象质评定的指标。阐述了测试调制度的原理、设备、方法和结果示例。

一、前言

红外跟踪光学系统工作在近红外和中红外区,对于它的成象质量,不能用光学观察的方法进行评定。国内外的同行对红外光学系统的象质评定曾作了大量的工作,如采用红外光学调制传递函数、脉冲响应函数等来评定红外光学系统的象质。

所谓红外光学系统的象质,系指光学系统的总效率和象斑能量集中程度。过去的几种红外光学系统的象质检验方法只是检验视场中心的可见光弥散园大小,至于轴外,由于光斑结构十分复杂,且不对称,故无法进行测量。系统在使用波段的总效率则根本不做检验。但即使如此,由于红外弥散园是看不见的,无法用一般显微镜测量,因此,还得把它折合到可见光范围进行装调和鉴定。折合方法有两种,一是机械位移法,二是等光程法。这些方法的优点是方便、直观、设备简单,缺点是主观误差大、无能量集中程度的数量概念。

本文根据产品的实际工作状态,提出以特定空间频率下的调制度作为系统象质的评定指标,这对红外跟踪光学系统来说,比较合理、比较实用,尤其对一些不透可见光的系统更为合适,但设备较复杂、使用不太方便是其缺点。

二、调制度的测试原理

在一般的红外跟踪装置中,光学系统焦平面上都装有图案各异的调制盘,以确定目标位置、改善空间滤波性能。图1就是一种比较常用的调制盘图案。当目标象位于视场中心A点时,从调制盘输出的是恒定的能量,当目标象位于B点时,从调制盘输出的是能量脉冲串,如图2所示。在进行光学系统装调和象质检测时,可借助产品的调制盘,也可以重新设计一种测量调制盘。

为了便于推导调制盘输出能量的变化规律,我们取直角坐标系,令其原点与点列图重心重合。某瞬间调制盘栅格相对红外弥散斑的状态如图3所示。此时透过栅格的光通量 $F(x_0, y_0)$ 等于目标象点的能量分布函数 $I(x, y)$ 与栅格透过率函数 $T(x', y')$ 的乘积,即

本文1981年12月2日收到。

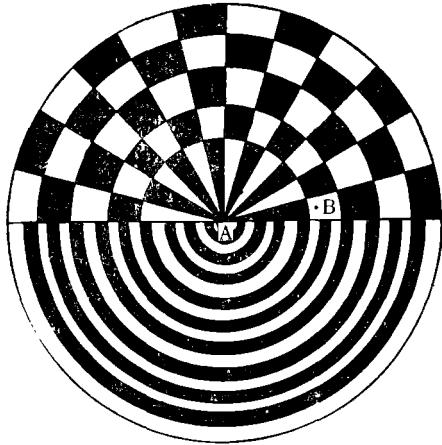


图1 常用的调制盘图案

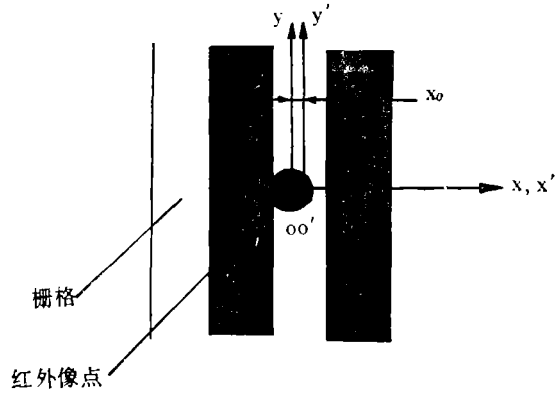


图3 调制盘栅格相对红外弥散的状态

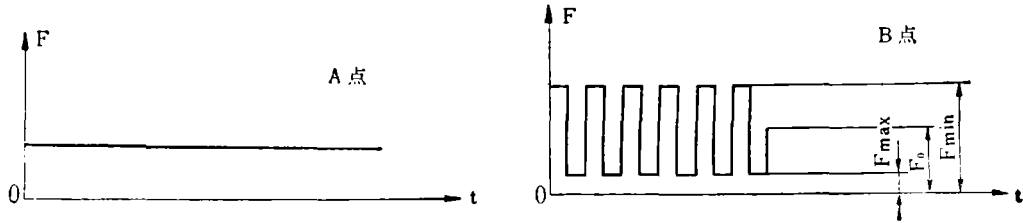


图2 调制盘输出的能量

$$F(x_0, y_0) = \iint_{-\infty}^{\infty} I(x, y) \cdot T(x', y') dx dy,$$

经坐标变换, 上式可写成

$$F(x_0, y_0) = \iint_{-\infty}^{\infty} I(x, y) \cdot T(x-x_0, y-y_0) dx dy. \quad (1)$$

在测量时, 我们只考虑一维情况。现假设栅格在 y 方向的透过率为恒值, 它只是随 x 方向发生变化, 即 $T(x-x_0, y-y_0) = T(x-x_0)$, 于是式(1)变为:

$$\begin{aligned} F(x_0) &= \iint_{-\infty}^{\infty} I(x, y) \cdot T(x-x_0) dx dy \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) dy \right] \cdot T(x-x_0) dx \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} L(x) \cdot T(x-x_0) dx, \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $F(x_0)$ 为栅格处于 x_0 位置时透过栅格的总能量; $L(x) = \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) dy$, 是目标象点的线扩展函数; $T(x')$ 为栅格沿 x 方向的透过率函数, 且有:

$$T(x') = \begin{cases} 2 & \text{当 } |x'| \leq \frac{l}{2}, \\ 0 & \text{当 } \frac{3l}{2} > |x'| > \frac{l}{2}, \end{cases} \quad (3)$$

其周期为 $2l$, 即:

$$T(x' + 2l) = T(x').$$

将式(3)代入式(2),展开成傅里叶级数,最后可得:

$$F(x_0) = 1 + \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \pm \frac{1}{n} M(nf) \cos[2\pi n f x_0 - \theta(nf)], \quad (4)$$

式中: n 为谐波次数, 且是奇数, 累加号后面的正负号取法是, 当 n 为 1、5、9... 时为正, n 为 3、7、11... 时为负; f 为空间频率, M 为调制度, θ 为相位角。

式(4)就是栅格沿 x 方向切割象点时透过栅格的能量变化规律。如果在栅格后面放有接收元件、前置放大器和选频放大器, 那么, 从选频放大器输出就只剩基波, 而高次谐波被滤掉, 于是得到的是随时间变化的电压信号:

$$V(t) = 1 + \frac{4k}{\pi} M(f) \cos[2\pi f v t - \theta(f)], \quad (5)$$

式中: $V(t)$ 为选频放大器输出的电压; k 为比例因子, 与元件、放大器有关; v 为栅格运动的线速度; t 为时间。

式(5)表示当栅格相对象点运动时从选频放大器输出的电压变化规律, 它是典型的余弦波形, 其幅度正比于调制度 M , 若象点能量集中程度高, 那么对应于一定空间频率 f 的调制度也高, 选频放大器输出的电压幅值就大, 反之亦然。在测量时, 我们直接测量电压有效值或电压峰-峰值, 然后用零频测得的电压有效值或电压峰-峰值进行归一化, 这样就可知该光学系统的成象质量了。

三、测试设备

测试设备如图 4 所示。它的工作原理是: 位于平行光管焦平面上的点光源所发出的光, 经过平行光管物镜变成一束平行光射入被测系统, 聚焦于被测系统焦平面上; 光线被置于被测系统焦平面上的调制盘进行调制, 然后被接收元件全部接收而转换成电压信号, 该信号经前置放大器和选频放大器放大后被电压表测值, 同时在示波器上进行波形幅度监视。光学转子是由调速马达通过皮带轮来带动旋转的。监视系统用来监视象点在调制盘的位置。

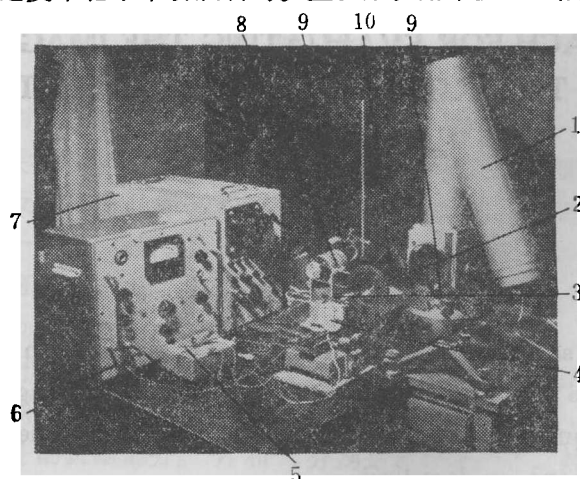


图 4 测试设备

1—平行光管; 2—被测系统; 3—接收元件; 4—前置放大器; 5—±12 伏电源
6—选频放大器; 7—示波器; 8—调速马达; 9—监视系统; 10—析光镜

四、测试方法及测试示例

首先把整个测试系统的噪声抑制到最低程度,使信噪比满足一定的要求,而后调整好被测系统的光轴,使它与平行光管光轴一致,于是就可着手进行测量。鉴于产品的使用状态,

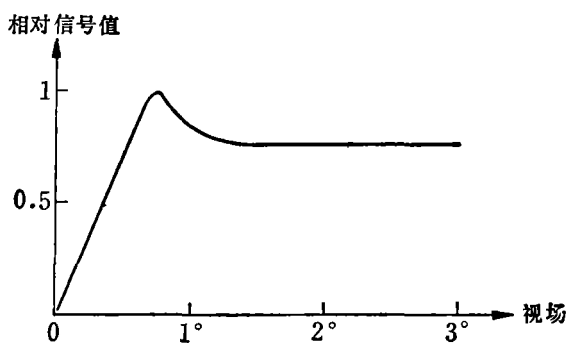


图5 测试结果

我们只测弧矢方向的调制度,根据需要可选择—个视场测量,也可选择几个视场测量。图5是某产品的测试结果,其调制盘图案为辐射形。

参 考 文 献

- [1] Криксунов Л. Э. и Усольцев И. Ф. *Инфракрасные Устройства Самонаведения Управляемых Снарядов*, Советское РАДИО, 1963, 34.
- [2] Hinebaugh Robert L, **AD-787 190** (1974), 12.
- [3] Driscoll, w., *Handbook of Optics*, MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1978, 2-1.
- [4] 麦伟麟, *光学传递函数及其数理基础*, 国防工业出版社, 1979.

AN APPROACH FOR EVALUATING THE IMAGE QUALITY OF THE IR TRACKING OPTICAL SYSTEM

HUANG JIAYOU
(Luoyang Dynamics Institute)

ABSTRACT

The modulation at a specific spatial frequency is proposed on the basis of the actual work condition of the products, as a criterion for evaluating image quality of a system. The principle, the equipment and the method for measuring the modulation and the example of measurement are described.